

身体組成に関する研究史と研究分野

小宮, 秀一
Institute of Health Science, Kyushu University

<https://doi.org/10.15017/661>

出版情報 : 健康科学. 20, pp.1-8, 1998-03-16. 九州大学健康科学センター
バージョン :
権利関係 :

— 綜 説 —

身体組成に関する研究史と研究分野

小 宮 秀 一

Historical Introduction and Areas of Body-Composition Research

Shuichi KOMIYA

Abstract

Chemical science entered the scene in the 18th century, and burst into prominence in the 19th century. During the last decade, there has been increased interest in the assessment of body composition in physiological and nutritional research and in sports medicine. During the past 50 years interest in the gross composition, size, and shape of the human body has accelerated as a result of development and validation of densitometric, radiogrammetric, and radioisotopic techniques. The scientific community, in no small measure due to the scholarly leadership of Josef Brozek and Francis Moore, has become aware of quantitative procedures in health and disease which divide the body into chemical entities and anatomic components such as total body fat, water, blood volume, red cell mass, cellular water, extracellular water, and define lean body or “fat-free” mass and active metabolic structure of the body.

Recent years have seen the development of tools that can be applied to the living, to conduct a “bloodless dissection” of the human body so as to construct what James Gamble called a chemical anatomy; to discover what happens during growth and aging; and to learn some of the consequences of disease and of altered nutrition. In our highly industrialized and automated society, obesity and cardiovascular deterioration are closely associated with inactivity, overnutrition, and compulsive emotional stresses.

The study of body composition spans > 100 y, and the term body composition is widely used. However, it is unclear what this branch of science represents and what exactly is meant by the term body composition. Body-composition research is a branch of human biology that has three interconnecting areas: body-composition levels and their organizational rules, measurement techniques, and biological factors that influence body composition. Information related to body composition is accumulating rapidly and is extending our knowledge of human biology. Most of this information is now categorized as technical or biological. Nearly every aspect of clinical nutrition, selected areas within many medical specialties, and components of exercise science are touched on by the study of body composition.

In this article, I review some basic historical introduction and areas of body-composition research.

Key words: body composition, historical introduction, areas of body-composition research

(Journal of Health Science, Kyushu University, 20 : 1 – 8, 1998)

1. 身体組成とは

体重は人体を構成する要素の総計である。従って、身体組成、体組成或いは体構成は body composition という用語が適用され、人体を構成する種々の成分を意味している。現代の分析技術は“非観血的解剖 (bloodless dissection)”によって、生体を幾つかの成分に区分することを可能にした。

人体を構成する物質の最小単位は原子や元素である。人体を構成する元素は、地球上に普遍的にみられるもので、特別な生命用の元素があるわけではない。自然界に存在する106の元素のうち、50までは人体でも確認されている。それらのうち酸素、炭素、水素、窒素、カルシウム、磷の6元素で体重の約98%以上を構成し、最も多い酸素だけで体重の60%以上を構成している。

これらの小さな原子から組み立てられている分子のうち、人体を構成する主要な成分は、水分、脂質、蛋白質、ミネラル、グリコーゲンである。人体において最も豊富な化合物は細胞外液と細胞内液からなる水分であり、成人男性における体重の約60%を構成している⁴⁷⁾。次に多い化合物は脂質である。脂質 (lipid) と脂肪 (fat) という用語がしばしば混同して使用されるが、脂肪は中性脂肪と同義語であるため総脂質のサブグループである。一方、脂質は細胞膜を形成し重要な働きをする必須脂質 (スフィンゴマイエリン、磷脂質) と断熱及びエネルギーの貯蔵庫である非必須脂質 (中性脂肪) に分類することができる⁴⁷⁾。成人男性における総体脂質の90%までは非必須脂質 (中性脂肪) である。身体組成研究で使われる蛋白質という用語は窒素を含んだ殆ど全ての化合物を意味しており、成人男性における体重の約15%に相当する。ミネラルという用語は多くの金属元素 (カルシウム、ナトリウム、カリウム) と非金属元素 (酸素、磷、塩素) を含む無機化合物のカテゴリーで使われ、類似した用語である灰分 (ash) は500°Cで長時間熱せられた生物サンプルの残滓である。炭水化物の貯蔵形態であるグリコーゲンは細胞質にみられ、筋肉 (非乾燥重量の1%以下) と肝臓 (2.2%) に含まれている²³⁾。

人体を構成する細胞は、細胞 (cell)、細胞外液 (extracellular fluid)、細胞外固体 (extracellular solid) の区分からなっている。次に、細胞、細胞外液、細胞外固体は組織、器官、系を構成する。身体組成研究では、筋組織 (muscular tissue)、骨組織 (bone tissue)、脂肪組織 (adipose tissue) が重要である。器官は一

つ或いは幾つかの組織から構成され、密接に関連した機能をもつ数個の器官が器官系を構成している。

表1は、成人男性における組織及び器官の重量とそれらが体重に占める割合を示している。骨格筋、脂肪組織、骨、血液、皮膚及び内臓の5成分が体重の約85%を占めている。骨格筋は人体を構成する脂肪組織以外の成分の約半分を占めている⁵⁴⁾。骨格筋は筋組織、神経、腱、間質性脂肪組織からなっており、脂肪を取り除いた骨格筋の約20%は蛋白質である²¹⁾。脂肪組織は脂肪細胞、血管、構成元素を含んでいる。脂肪組織は本来脂肪の貯蔵場所であり、健康な成人の脂肪組織における化学的組成の約80%が脂肪、18%が水分、2%が蛋白質である²⁴⁾。脂肪組織はその分布によって、皮下脂肪 (subcutaneous fat)、内臓脂肪 (visceral fat)、間質性脂肪 (細胞や器官の間隙に点在)、黄色脂肪髓の4タイプに分類できる⁴⁷⁾。しかし、表1に示したように脂肪組織の主要な分布場所は皮下と内臓周辺であり²²⁾、これらは貯蔵脂肪 (storage fat) と呼ばれる。一方、量的に多くはないが骨髄、脳、脊髄、内臓器官内に貯蔵されている必須脂質 (essential lipid) があり、これには乳腺や骨盤部位等の性固有の脂肪 (gender-specific fat) が含まれる。従って、脂肪組織を除去し、残りの組織を統合したものを脂肪のない組織 (lean tissue) と呼び、これは全身の代謝活性や生物学的機能の主要な部分と関連している。

身体組成研究では、体重を構成する身体組成を体脂肪量 (body fat mass) と除脂肪量 (lean body mass) に二分する2-成分モデル (2-component model) が

Table 1. Body composition on the tissues and organs of the 70-kg Reference Man.

Tissue or organ	Amount (kg)	Percent of body weight (%)
Skeletal muscle	28	40
Adipose tissue	15	21
Subcutaneous	7.5	11
Visceral	5	7.1
Interstitial	1	1.4
Yellow marrow	1.5	2.1
Bone	5	7.1
Blood	5.5	7.9
Skin	2.6	3.7
Liver	1.8	2.6
Central nervous system	1.4	2
Gastrointestinal tract	1.2	1.7
Lung	1	1.4

Snyder et al., 1984 (modified)

一般的である。

図1は、体重をこの2成分で表したときのそれぞれの構成成分を示している。脂質 (lipid) は必須脂質 (essential lipid) と非必須脂質 (nonessential lipid) とに分類できる。非必須脂質の大部分は中性脂肪であり動員可能なエネルギーの貯蔵庫である。従って、脂質全体 (脂肪を含む) を除いた体容量は除脂質体容量 (lipid-free body mass) であり、その重量が除脂質体重 (lipid-free body weight) である。必須脂質と脂肪は構造上も生理学的にも異なっているが、それらの有機溶媒中での溶解性は同じであり、試験管中でさえそれらを明確に区別することは困難である¹⁹⁾。まして、生体でそれらの重量を区別して定量することはできない。従って、Behnke, A. R. and Wilmore, J. H. (1974)²⁾ や Forbes, G. B. (1987)¹⁶⁾ は、水分、蛋白質、ミネラル、グリコーゲン及び必須脂質を含んだ除脂肪量 (lean body mass; LBM) 或いは除脂肪体重 (lean body weight; LBW) という概念を提起した。しばしば、FFM (fat-free mass) という用語も使用されるが、体重を構成する一方の要素を必須脂質を含んだ除脂肪体重と考えるならば、残りの要素は脂肪 (非必須脂質) であるため、LBM と FFM とは同義語であると考えて差し

支えない。

身体組成研究では三つの主要な組織である筋、骨、脂肪が特に重要であり、それらは成人男性における体重の約75%を構成する⁴⁷⁾。筋組織と骨組織はLBM (或いは FFM) の半分以上を占め、全身の代謝や生理機能と密接に関連している。2成分モデルにおける脂肪組織は必須脂質或いは性固有脂肪を含んでおらず、本来断熱や動員可能なエネルギーの貯蔵庫としての機能をもつ組織であり、そこに存在するのは貯蔵脂肪 (storage fat) である。従って、貯蔵脂肪の過剰蓄積は肥満との関連で注目されている。この貯蔵脂肪は前述したように分布する部位によって皮下脂肪 (subcutaneous fat) と体内深部脂肪 (internal fat) に大別できる。近年、腹部の内臓周辺、特に腸管膜に蓄積している内臓脂肪 (visceral fat) 量が肥満による健康リスクとの間に強い正の相関がある^{29), 30)} ことから注目されている。

従って、この2成分モデルにおける体重は次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{体重} &= (\text{必須脂質} + \text{水分} + \text{蛋白質} + \text{ミネラル} + \\ &\quad \text{グリコーゲン} + \text{残余化合物}) + \text{非必須脂質} \\ &= \text{除脂肪体重} + \text{脂肪} \\ &= \text{FFM} + \text{Fat} \equiv \text{LBM} + \text{Fat} \end{aligned}$$

2. 身体組成に関する研究史

身体組成の研究は100年以上に及び、身体組成 (body composition) という用語も今日広く使われている。

化学は18世紀に登場し19世紀に飛躍的な発展を遂げ、種々の元素が発見され、有機化合物が認知された。19世紀の生化学者 Justus von Liebig は、からだに食物に含まれる多くの物質と同じものを含んでおり、体液は組織に比べてナトリウムを多く、カリウムを少なく含んでいることを発見した。19世紀の中頃、Albert von Bezold (1857)⁵²⁾ は動物の発育には水分容量の減少と灰分容量の増加が伴うことを発見し、若い動物と成熟した動物では身体組成が異なることを明らかにした。続いて、筋の詳細な分析が Katz, J. (1896)²⁶⁾ によってなされた。Lawes, J. B. and Gilbert, J. H. (1859)³¹⁾ は、食用獣肉として使われる動物を利用して脂肪含有量の変化を検討し、体水分量が脂肪含有量とは逆の変化を示すことを明らかにした。また、Bischoff, E. (1863)⁴⁾ は成人の死体を分析して水分容量を検討した。この研究は Fehling, H. (1876)¹³⁾ 及び Camere, W. and Soldner. (1900)⁷⁾ による胎児と新生児の身体組成研究に引き継がれた。このようにして、19世紀の終わ

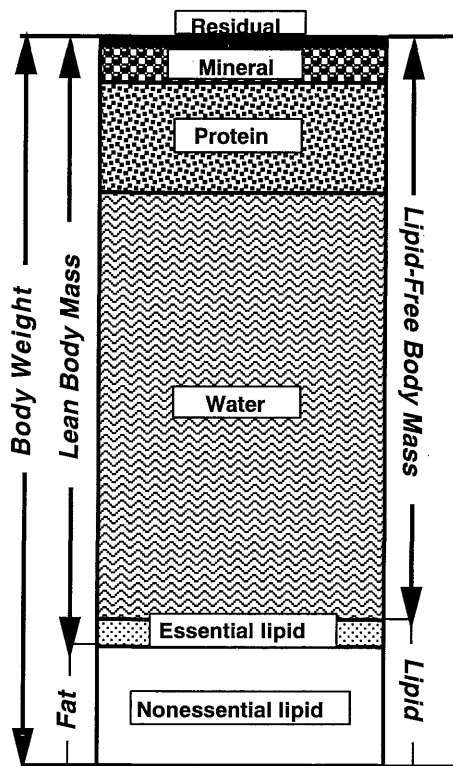


Fig.1. Body-composition model on the molecular level.

りまでには、水分、脂肪、窒素、ミネラルに関する胎児の化学的組成は確立された。一方、栄養状態を評価する人体計測法としての皮下脂肪厚の測定は Richer, P. によって19世紀の後半に実現していた。しかし、比較的正確に皮下脂肪厚を測定する特殊なペンチ型キャリパーが開発されるのは1930年代である。

20世紀初頭、Voit, E. (1901)⁵¹⁾と Rubner, M. (1902)⁴²⁾は生理機能が関連する組成を”活性原形質容量 (active protoplasmic mass)”と呼び、Magnus-Levy, A. (1906)³²⁾によって生きた被験者の体脂肪含有量を推定する最も基礎となる除脂肪量 (fat-free body mass) の概念が生まれた。その後、この概念は Hastings, A. B. and Eichelberger, L. (1937)²⁰⁾による一連の組織分析によって洗練された。このことから、中性脂肪が水分、窒素、電解質を含まず、組織分析の結果を除脂肪ベースで表現する現在の一般的な方法が確立したといえる。この間、Shaffer, P. A. and Coleman, W. (1909)⁴⁴⁾は筋量の指標として尿中のクレアチニン排泄量を用い、Matiegka, J. (1921)³³⁾は身体的効率に関して人体を筋、脂肪、骨に細分する人体計測学的方法を開発した。

20世紀初期において、身体組成が発育期に変化することは知られていたが、身体組成の変化に“成熟”が考慮されるようになるのは Moulton, C. R. (1923)³⁵⁾の“化学的成熟 (chemical maturity)”の概念が発表された以後である。しかし、化学的組成の歴史が完成するには全身分析を実施した Job, V. and Swanson, W. W. (1938)²⁵⁾の研究を待たなければならなかった。

その間に、体液量の概念が確立され、最初に Keith, N. M. ら (1915)²⁷⁾による血液量の定量、その後その他の体液区分量の概念が追加され、代謝バランスの概念が構築された。Cathcart, E. P. (1907)⁸⁾や Benjamin, E. (1914)³⁾らは窒素の変化を検討し、Darrow, D. C. ら (1949)⁹⁾, 1958¹⁰⁾や Gamble, J. L. ら (1953)¹⁷⁾は種々の体液区分における変化を検討して、ナトリウム・バランスとカリウム・バランスが細胞外液量と細胞内液量それぞれの変化をみるために使用できることを示した。

Urey, H. C. ら (1932)⁵⁰⁾によって重水素が発見された直後、Hevesy, G. and Hofer, E. (1934)⁵³⁾らは総体水分量 (Total Body Water; TBW) を推定するためにこの同位元素を用いた。その後、Moore, F. D. (1946)³⁴⁾は同位元素を用いてナトリウム (total exchangeable sodium) とカリウム (total exchangeable potassium) の概念を紹介した。

人体が除脂肪組織と脂肪組織から構成されるという

2成分モデル (two-component model) の概念は1930年代初期の研究に端を発している。Behnke, A. R. ら (1942)¹⁾は、約2000年前のギリシャの数学者アルキメデスが発見した原理を応用して体積 (body volume) を正確に推定し、人体の除脂肪 (lean) と脂肪 (fat) の相対比を推定する方法を示した。Rathbun, E. N. and Pace, N. (1945)⁴¹⁾は比重 (specific gravity) から体重に占める脂肪の割合 (体脂肪比率, %body fat) を計算する式を開発した。人体におけるこれらの構成要素を直接分析するには新しい死体の解剖によるのみ可能であるが、これには多くの問題があるため、Keys, A. and Brozek, J. (1953)²⁸⁾らの研究など極めて少ない。従って、この解剖結果に基づいて Brozek, J. ら (1963)⁶⁾は Siri, W. E. (1956)⁴⁶⁾と同様に体密度 (body density) から % body fat を推定する間接法を確立した。

Psce, N. and Rsthbun, E. N. (1945)³⁸⁾は各種哺乳動物の総体水分量 (TBW) を測定し、除脂肪組織 (lean body tissue) に含まれる TBW が73.2%で生物学的にコンスタントであることを明らかにし、TBW を測定することによって除脂肪量 (Lean Body Mass; LBM) が推定できることを示した。その後、Soberman, R. ら (1949)⁴⁸⁾がアンチピリンをトレーサーとした TBW の測定法を開発し、Osserman, S. F. ら (1950)³⁷⁾は TBW から計算した LBM と体密度から計算した LBM が良く一致することを認め、この間接法が確立した。

人体が γ 線を放射することは知られていたが、⁴⁰K (potassium-40) の体容量が適当な機器によって検出され、定量できることを発見したのは Sievert, R. M. (1951)⁴⁵⁾であった。その後、Forbes, G. B. ら (1961)¹⁴⁾は除脂肪組織が一定のカリウム容量をもつという原理を利用して、非侵襲的に除脂肪と脂肪を推定する⁴⁰K法を開発した。

クレアチニン(Cr)は筋中でクレアチン(phosphocreatine)から産生され、食餌の中には多量に含まれていないことから、尿中の Cr 排泄量が初めて筋量の指標として考えられたのは20世紀の初期であった。しかし、この仮説を実証したのは Schutte, J. E. ら (1981)⁴³⁾である。Forbes, G. B. and Bruining, G. J. (1976)¹⁵⁾は既に⁴⁰K法と比較しながら尿中の Cr 排泄量と LBM が高い相関関係を示すことを明らかにし、24時間に排泄された Cr 量から LBM を推定する式を開発していた。

身体組成の主な研究内容は骨量や軟部組織における種々の構成要素の測定に関するものであるといっても過言ではない。しかし、これまでに述べてきた方法は複雑で、高価であり、長期間に及ぶ研究やフィールド

における研究には不向きである。そこで、簡単に容易に測定できる人体計測学的方法が開発された。身体組成を推定する人体計測学的方法の代表的なものは身体各種部位における皮下脂肪厚 (skin-fold thickness), 体幅 (body diameter), 周径圍 (girth or circumference) 等である。Edwards, D. A. W. (1950)¹²⁾ によってヒトの皮膚が僅か0.5–2 mmであることが確認されたため、皮下脂肪厚とは、皮膚と皮下脂肪組織の二重の層を含んだものを意味している。皮下脂肪厚の測定は19世紀の後半から実施されていたが、皮下脂肪厚計測専用機器 (caliper) として一定圧に調節され開発されたのは1950年代である。この皮下脂肪厚と周径圍とを種々組み合わせさせて体密度や体脂肪量を推定する研究は、Brozek, J. and Keys, A. (1951)⁵⁾, Steinkamp, R. (1965)⁴⁹⁾, Durnin, J. V. G. A. and Womersley, J. (1974)¹¹⁾, Behnke, A. R. and Wilmore, J. H. (1974)²⁾, Parizkova, J. (1977)³⁹⁾, Pollock, M.L. (1984)⁴⁰⁾ によって行われた。Behnke, A. R. and Wilmore, J. H. (1974)²⁾ は体幅と除脂肪量 (LBM) との関係进行分析し、Gurney, J. M. and Jelliffe, D. B. (1973)¹⁸⁾ は皮下脂肪厚と周径圍から筋面積を推定するノモグラムを作成している。しかし、いずれの人体計測学的方法も測定精度には問題がある。

わが国における身体組成研究の歴史はそれほど古くはない。わが国における身体組成の測定は、1964年に「栄研式皮下脂肪厚計」が考案され、この皮下脂肪厚から体密度を推定して体脂肪比率 (%body fat) を求める日本人用の推定式が Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964)³⁶⁾ によって開発されてから活発に行われるようになった。

最近では、中性子活性 (neutron activation), コンピュータ・トモグラフィ (computed tomography; CT scan), 電気電導率 (total body electrical conductivity; TOBEC), インピーダンス (bioelectrical impedance analysis; BIA), 磁気共鳴画像 (magnetic resonance imaging; MRI), 二重エネルギー X 線吸収 (dual-energy X-ray absorptiometry; DEXA), 二重光子吸収 (dual-photon absorptiometry) 等が身体組成の分析に使用されている。

3. 身体組成に関する研究分野

身体組成研究の結果、我々は健康な状態や疾病状態における人体の構成要素に関する多量のデータをもつことになる。現在、身体組成に関する情報は急速に蓄積されており、人間生物学 (human biology) に関す

る知識を拡大させている。

身体組成研究は体力 (運動) 科学に留まらず、栄養 (nutrition), 疾病 (disease), 発育 (growth), 加齢 (aging) といった human biology の分野として、技術的 (technical) な情報を提供する解剖学的 (anatomical) 意義と生物学的 (biological) な情報を提供する生理学的 (physiological) 意義の二つをもっている。解剖学的意義は、人体を構成する要素の種類とその量を明らかにする意味で分析法に関する技術的情報も提供する。人体におけるその構造は、従来の人体計測学とは違う身体組成という概念から分析され、人体の生理機能を理解する基礎を築いたといえる。身体組成研究のもう一つの重大な意義は、身体組成に影響を及ぼす栄養、運動、疾病、発育、発達、加齢等との関係についての生物学的な情報を提供する生理学的意義である。

健康科学における運動生理学は人体が機能するときの状態を系統的に分析し、その法則性を明らかにするものである。従って、運動生理学は人体計測学と対立してはいるが、この対立は相補的な対立であって、お互いに退け合うものではない。特に、現代のように研究方法が細分化した時代では、機能と構造が別々に研究されることは多いが、構造の人体計測学的研究と機能の運動生理学的研究は同時に進行しなければならない。すなわち、身体組成に関する研究は構造と機能との関連を研究するという意味から dynamic anthropometry として位置づけられる。

身体組成研究には3つの領域がある (図2)。第一の領域は、生きたヒトの人体構成要素をレベル分けし、それらの関連性を明らかにするものである。第二の領域は、種々の構成要素に関する測定法の開発と改善で

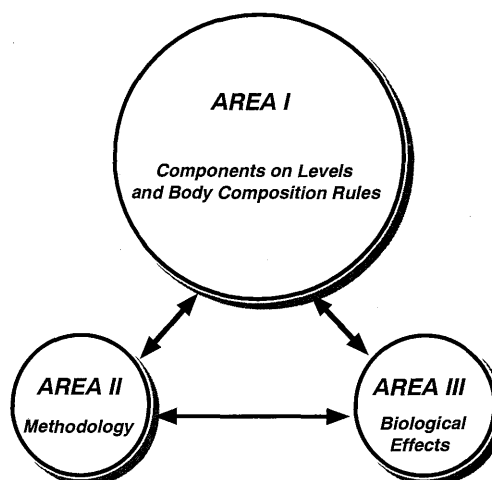


Fig. 2. The three areas of body-composition research.

ある。第三の領域は、身体組成に及ぼす発育・発達・妊娠・加齢・運動・疾病等の生物学的要因の影響を研究するものである。

ヒトの身体組成研究は1世紀半前に始まり、現在では基礎科学や臨床研究の領域で活発に続けられている。特に近年では、身体組成に関する技術的な情報と生物学的な情報が急速に蓄積されてきている。このような状況から、身体組成研究は human biology の中でも特に運動(体力)科学、臨床栄養学、臨床医科学等の分野で活発に行われ、それぞれの研究領域が近年接近してきている。

参考文献

- 1) Behnke, A.R., Feen, B. G. and Welham, W. C. (1942): The specific gravity of healthy men. *Journal of the American Medical Association*, **118**: 495-498.
- 2) Behnke, A.R. and Wilmore, J. H. (1974): *Evaluation and Regulation of Body Build and Composition*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- 3) Benjamin, E. (1914): Der Eiweissnachsaden des Sauglings. *Zeitschrift fur Kinderheilkunde*, **10**: 185-302.
- 4) Bischoff, E. (1863): Einige Gewichts-und Trocken-Bestimmungen der Organe des menschlichen Körpers. *Zeitschrift fur Rationelle Medizin*, **20**: 75-118.
- 5) Brozek, J. and Keys, A. (1951): The evaluation of leanness-fatness in man: norms and interrelationships. *British Journal of Nutrition*, **5**: 194-206.
- 6) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T. and Keys, A. (1963): Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumption. *Annals of the New York Academy of Science*, **110**: 113-140.
- 7) Camerer, W. and Soldner. (1900): Die chemische Zusammensetzung des Neugeborenen. *Zeitschrift fur Biologie*, **39**: 173-192.
- 8) Cathcart, E. P. (1907): Uber die Zusammensetzung des Hungerharns. *Biochemische Zeitschrift*, **6**: 109-148.
- 9) Darrow, D. C., Pratt, E. L., Flett, J., Gamble, A. H. and Wiese, H. F. (1949): Disturbances of water and electrolytes in infantile diarrhea. *Pediatrics*, **3**: 129-156.
- 10) Darrow, D.C. and Hellerstein, S. (1958): Interpretation of certain changes in body water and electrolytes. *Physiological Reviews*, **38**: 114-137.
- 11) Durnin, J. V. G. A. and Womersley, J. (1974): Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition*, **32**: 77-97.
- 12) Edwards, D. A. W. (1950): Observations on the distribution of subcutaneous fat. *Clinical Science*, **9**: 259-270.
- 13) Fehling, H. (1876): Beitrage zur Physiologie des placentaren Stoffverkehrs. *Archiv fur Gynakologie*, **11**: 523-557.
- 14) Forbes, G. B., Hursh, J. and Gallup, J. (1961): Estimation of total body fat from potassium-40 content. *Science*, **133**: 101-102.
- 15) Forbes, G. B. and Bruining, G. J. (1976): Urinary creatinine excretion and lean body mass. *American Journal of Clinical Nutrition*, **29**: 1359-1366.
- 16) Forbes, G. B. (1987): *Human Body Composition*. Springer-Verlag, New York.
- 17) Gamble, J. L., Robertson, J. S., Hannigan, C. A., Foster, C. G. and Farr, L. E. (1953): Chloride, bromide, sodium, and sucrose spaces in man. *Journal of Clinical Investigation*, **32**: 483-489.
- 18) Gurney, J. M. and Jelliffe, D. B. (1973): Arm anthropometry in nutritional assessment: nomogram for rapid calculation of muscle circumference and cross-sectional muscle and fat areas. *American Journal of Clinical Nutrition*, **26**: 912-915.
- 19) Gurr, M. I. and Harwood, J. L. (1991): *Lipid Biochemistry*. 4th ed. Chapman and Hall, London.
- 20) Hastings, A. B. and Eichelberger, L. (1937): The exchange of salt and water between muscle and blood. *Journal of Biological Chemistry*, **117**: 73-93.
- 21) Heymsfield, S. B., McManus, C., Stevens, V. and Smith, J. (1982): Muscle mass: reliable indicator of protein-energy malnutrition severity and outcome. *American Journal of Clinical Nutrition*, **35**: 1192-1199.
- 22) Heymsfield, S. B. and Williams, P. J. (1988): Nu-

- tritional Assessment by Cinical and Biochemecal Methods. In Modern nutrition in health and disease. 7th ed. Edited by Shils, M.E. and Young, V. R. Lea & Febiger, Philadelphia.*
- 23) Heymsfield, S. B., Waki, M., Kehayias, J., Lichtman, S., Dilmanian, F. A., Kamen, Y., Wang, J. and Pierson, R. N. (1991): Chemical and elemental analysis of humans in vivo using improved body composition models. *American Journal of Physiology*, **261** : E190-E198.
- 24) Heymsfield, S. B., Tighe, A. and Wang, Z. M. (1993): *Nutritional Aessment by Anthropometric and Biochemical Methods. In Modern nutrition in health and disease. 8th ed. Edited by Shils, M. E., Olson, J. A. and Shike, M. Lea & Febiger, Philadelphia.*
- 25) Job, V. and Swanson, W. W. (1938): Mineral growth. *Growth*, **2**: 252-256.
- 26) Katz, J. (1896): Die mineralischen Bestandtheile des Muskelfleisches. *Archiv fur die Gessamte Physiologie des Menschen und der Thiere*, **63**: 1-85.
- 27) Keith, N. M., Rowntree, L. G. and Gerachty, J. T. (1915): A method for the determination of plasma and blood volume. *Archives of Internal Medicine*, **16**: 547-576.
- 28) Keys, A. and Brozek, J. (1953): Body fat in adult man. *Physiological Reviews*, **33**: 245-345.
- 29) Lapidus, L., Bengtsson, C., Larsson, B., Pennert, K., Rybo, E. and Sjoström, L. (1984): Distribution of adipose tissue and risk of cardiovascular disease and death: a 12 year follow up of participants in the population study of women in Gothenburg, Sweden. *British Medical Journal*, **289**: 1257-1261.
- 30) Larsson, B., Svardsudd, K., Welin, L., Wilhelmsen, L., Björntorp, L. and Tibblin, G. (1984): Abdominal adipose tissue distribution, obesity, and risk of cardiovascular disease and death: 13 year follow up of participants in the study of men born in 1913. *British Medical Journal*, **288**: 1401-1404.
- 31) Lawes, J. B. and Gilbert, J. H. (1859): Experimental inquiry into the composition of some of the animals fed and slaughtered as human food. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **149**: 493-680.
- 32) Magnus-Levy, A. (1906): *Physiologie des Stoffwechsels. In Handbuch der Pathologie des Stoffwechsels. Edited by von Noorden, C. Hirschwald, Berlin.*
- 33) Matiegka, J. (1921): The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology*, **4**: 223-230.
- 34) Moore, F. D. (1946): Determination of total body water and solids with isotopes. *Science*, **104**: 157-160.
- 35) Moulton, C.R. (1923): Age and chemical development in mammals. *Journal of Biological Chemistry*, **57**: 79-97.
- 36) Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964): Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biology*, **36**: 8-15.
- 37) Osserman, S.F., Pitts, G.C., Welham, W.C. and Behnke, A.R. (1950): In vivo measurement of body fat and body water in a group of normal men. *Journal of Applied Physiology*, **2**: 633-639.
- 38) Pace, N. and Rathbun, E. (1945): Studies on body composition. III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *Journal of Biological Chemistry*, **158**: 685-691.
- 39) Parizkova, J. (1977): *Body Fat and Physical Fitness. Martinus Nijhoff b.v., The Hague.*
- 40) Pollock, M. L., Wilmore, J. H. and Fox, S. M. III (1984): *Exercise in Health and Disease. W. B. Saunders, Philadelphia.*
- 41) Rathbun, E.N. and Pace, N. (1945): Studies on body composition. I. The determination of total body fat by means of the body specific gravity. *Journal of Biological Chemistry*, **158**: 667-676.
- 42) Rubner, M. (1902): *Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung. Leipzig and Vienna, Deutsch.*
- 43) Schutte, J. E., Longhurst, J. C., Gaffney, F. A., Bastian, B. C. and Blomqvist, C. G. (1981): Total plasma creatinin: an accurate measure of total striated muscle. *Journal of Applied Physiology*, **51**: 762-766.
- 44) Shaffer, P. A. and Coleman, W. (1909): Protein metabolism in typhoid fever. *Archives of Internal Medicine*, **4**: 538-600.

- 45) Sievert, R.M. (1951): Measurements of gamma radiation from the human body. *Archiv Physik*, **3**: 337-346.
- 46) Siri, W. E. (1956): *Gross Composition of the Body*. In Advance in biological and medical physics. IV, Edited by Lawrence, J. H. and Tobias, C. A., Academic Press, New York.
- 47) Snyder, W. S., Cook, M. J., Nasset, E. S., Karhausen, L. R., Howells, G. P., Tipton, I. H. (1984): *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford.
- 48) Soberman, R., Brodie, B. B., Levy, B. B., Axelrod, J., Hollander, V. and Steele, J. M. (1949): The use of antipyrine in the measurement of total body water in man. *Journal of Biological Chemistry*, **179**: 31-42.
- 49) Steinkamp, R., Cohen, N. L., Gaffey, W. R., McKay, T., Bron, G., Siri, W. E., Sargent, T. W. and Isaacs, E. (1965): Measures of body fat and related factors in normal adults-II: a simple clinical method to estimate body fat and lean body mass. *Journal of Chronic Diseases*, **18**: 1291-1307.
- 50) Urey, H. C., Brickwedde, F. G. and Murphy, G. (1932): A hydrogen isotope of mass 2 and its concentration. *The Physical Review*, **40**: 1-15.
- 51) Voit, E. (1901): Die Bedeutung des Korperfettes fur die Eiweisszersetzung des hungernden Tieres. *Zeitschrift fur Biologie*, **41**: 502-549.
- 52) von Bezold, A. (1857): Untersuchungen uber die vertheilung von Wasser, organischer Materie und anorganischen Verbindungen im Thierreiche. *Zeitschrift fur Wissenschaftliche Zoologie*, **8**: 487-524.
- 53) von Hevesy, G. and Hofer, E. (1934): Die Verweilzeit des Wassers im menschlichen Korper, untersucht mit Hilfe von "schwerem" Wasser als Indicator. *Klinische Wochenschrift*, **13**: 1524-1526.
- 54) Wang, Z. M., Pierson, R. N. and Heymsfield, S. B. (1992): The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *American Journal of Clinical Nutrition*, **56**: 19-28.